L-41

積層セラミック技術を磁気回路に用いた電磁式 MEMS エアタービン発電機の高出力化 Higher Output of Electromagnetic Type MEMS Air Turbine Generator

Using Multilayer Ceramic Technology to Magnetic Circuit

○工藤和也¹, 三島海斗², 高藤美泉³, 齊藤健³, 内木場文男³ *Kazuya Kudo¹, Kaito Mishima², Minami Takato³, Ken Saito³, Fumio Uchikoba³,

Abstract: This paper proposes an electromagnetic type MEMS air turbine generator that has combined with the MEMS technology and the multilayer ceramic technology. In this paper, two-type-ceramic-magnetic circuits were fabricated, and these were discussed about suitable structure for higher output. Moreover, a gap between magnet and magnetic circuit was discussed about a magnetic flux loss. The maximum rotational speed of the combined electromagnetic type turbine generator was 18000 rpm, and the maximum output power was 1.41μ VA. Then, the small gap type MEMS air turbine that was used a ball bearing system was designed.

1. はじめに

小型機器において内部部品の小型化・高密度実装化 は重要な課題である.特に電源において,携帯電子機 器に主に使用されているリチウムイオン二次電池は体 積エネルギー密度が理論的限界に達しつつある. した がって、リチウムイオン二次電池に代わる小型で高エ ネルギー密度な電源が求められる.小型な電源として IC 作製技術を基本とした MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 工程を用いた小型発電機の研究が 多く発表されている^[1].しかし MEMS 工程では電磁式 発電機に必要な三次元構造のコイルの作製が困難であ る. そのため, MEMS 工程では平面構造のコイルを用 いることが多いが^[2],抵抗値が高く平面方向に大型化 するといった課題がある.また、磁気回路は磁束の漏 洩を防ぐために磁性コアを導入することが望ましいが, MEMS 工程では磁性材料の導入が難しい. そこで,小 型電子素子作製技術である積層セラミック技術に着目 した. 積層セラミック技術で作製した小型磁気回路を 発電機に応用することで発電機の小型化が可能となる. また、積層セラミック技術は実装部品の多くに用いら れる技術であるため、基板上への実装も可能となる.

以上より本研究では積層セラミック技術により作製 した小型磁気回路と MEMS 工程で作製したエアター ビンを結合することによって小型発電機を開発した. また,高出力化のために磁気回路形状の検討と軸受機 構の検討を行った.

2. 電磁式 MEMS エアタービン発電機の設計

Figure 1 に電磁式 MEMS エアタービン発電機の模式 図を示す. ローターの下部に永久磁石を接着し,回転 によって積層セラミック磁気回路内のコイルを通過す る磁束を変化させ発電する界磁回転型電磁誘導方式と した. MEMS エアタービンは外形 5mm 角,軸受には 空気軸受を採用した.磁石は外形 3mm,厚さ 0.4mm, 磁束密度 120mT,径方向4極に着磁したサマリウムコ バルト磁石を使用した.また,回転時に摩擦を低減す るためにロータ下部に空気軸受機構を採用した.



Figure 1. Electromagnetic type MEMS air turbine generator

積層セラミック磁気回路は、セラミックシート状 にコイルパターンとスルーパターンを形成し、積層 することで作製した.磁性セラミックとして低温同 時焼成可能な NiCuZn フェライトを用い、銀をコイル パターンに採用することで低抵抗で高透磁率な磁気回 路を可能とした.Figure 2 に磁気回路の模式図を示す. 12 回巻のヘリカルコイルパターンを6つ配置し、対向 するコイルと組み合わせて3つの24回巻コイルとした. 3 つのコイルを Y 型結線し、三相交流回路とした.本 研究では高出力を得るため2 種類の磁気回路を作製し た.一体型磁気回路は全てのコイルが一体となってい る構造とした.分割型はコイル間にエアギャップがあ り、余分な磁性体を取り除いた構造とした.これらの 磁気回路構造について磁場解析を行い、磁束の誘導の 効率について検討を行った.

1:日大理工・学部・精機 2:日大理工・院(前)・精機 3:日大理工・教員・精機



(a) Integrated type

(b) Separated type

Figure 2. Multilayer ceramic magnetic circuits

3. 結果および考察

磁場解析の結果を Figure3 に示す.一体型磁気回路は コイル間の磁性体に磁束の漏洩を確認したが,分割型 磁気回路はコイル内に磁束の誘導を確認した.



Figure 3. Results of analysis of the magnetic field

磁性体配置形状の違いを比較するためスピンドルマ シンを用いて磁気回路の発電実験を行った.スピンド ルマシンを用いた磁気回路の発電実験を Figure 4 に, スピンドルマシンおよび発電機の発電結果を Table 1 に示す.



circuit using spindle machine

Table 1. Power generation result of spindle machine
and generator

		Spindle	Generator	
Rotational speed[rpm]		380000	18000	
Gap[µm]		100	400	
Output power [mVA]	Integrated type	0.63		
	Separated type	4.24	0.00141	

Table1 は負荷抵抗が 1Ω のときの結果である. これ らの結果から余分な磁性体を除去した分割型磁気回路 が高出力で発電機に適しているのがわかる. 分割型磁 気回路を用いて,電磁式 MEMS エアタービン発電機の 発電実験を行った結果,回転数 18000rpm,出力電力 1.41µVA を得た.また,グラフから高出力を得るため には回転数を増やすほかに磁石と磁気回路間のギャッ プを減らすことが効果的なことがわかった.しかし, 本設計では空気軸受用の流路があるためギャップが大 きくなってしまう.これを改善するために空気軸受の 代わりにボールベアリングを検討した.ボールベアリ ングを用いた MEMS エアタービンの設計を Figure 5 に 示す.ボールベアリングを上部へ配置することでギャ ップをより少なくできる.さらにボールベアリングを 採用することで偏心運動の抑制も可能になる.





4. まとめ

MEMS 工程と積層セラミック技術を組み合わせるこ とで小型電磁式 MEMS エアタービン発電機の開発を 行った.磁気回路の形状を検討した結果,余分な磁性 体を除去した分割型が適していことがわかった.また, 磁石と磁気回路間のギャップも関係することから,今 後 MEMS エアタービンにボールベアリングを用いた 発電機の開発を行う.

参考文献

 A. H. Epstein, "Millimeter-Scale MEMS Gas Turbine Engines", Proceedings of ASME Turbo Expo 2003 Power for Land, Sea and Air GT-2003-38866, pp.1-28, 2003
F. Herrault and et al., "Ultraminiaturized High-Speed Permanent-Magnet Generators for Milliwatt-Level Power Generation", Journal of Microelectromechanical Systems, Vol.17, No.6, December, 2008

謝辞

本研究は日本大学マイクロ機能デバイス研究センター, 日本大学理工学部研究助成金の支援を受けた.また, 本研究は科研費16K18055の助成を受けたものである.